

Résumé

La granulométrie des fèves de cacaoyer est étudiée dans un essai diallèle 6 x 6, installé au sud-ouest du Cameroun. Les taux de cabosses affectées par la pourriture brune et la production réelle permettent une analyse des corrélations avec la taille des fèves. L'aptitude générale à la combinaison constitue la principale source de variation de la granulométrie et ce caractère présente une forte héritabilité. La corrélation génétique d'additivité positive entre la granulométrie et le taux de cabosses pourries implique que les transmissions de ces caractères sont génétiquement liées. Dans les sélections en cours pour la résistance à la pourriture brune des cabosses, la granulométrie doit être étudiée, afin d'éviter une baisse de la taille des fèves. Une sélection sur index est recommandée pour maintenir la granulométrie et augmenter les niveaux de résistance.

Abstract

Cocoa bean size was studied in a 6 x 6 diallel trial established in southwestern Cameroon. Data about black pod frequency and yield in this trial were used to study correlations between these traits and bean size. General combining ability was the main factor of variation in bean size, and this trait was highly heritable. The genetic additive correlations between black pod and bean size showed that transmission of these traits was genetically linked. It is therefore important to check bean size when breeding for black pod resistance in order to avoid too great a reduction in bean size. A selection index is recommended, so as to increase the level of resistance and maintain bean size in breeding material.

Resumen

En el sureste del Camerún, en un ensayo dialélico 6 x 6, se estudia la granulometría de los granos de cacao. Las tasas de mazorcas afectadas por la pudrición parda y la producción efectiva permiten un análisis de las correlaciones con el tamaño de los granos. La aptitud general a la combinación constituye la principal fuente de variación de la granulometría y este carácter se hereda muchísimo. La correlación genética del carácter aditivo positivo entre la granulometría y la tasa de mazorcas podridas implica que las transmisiones de estos caracteres se hallen genéticamente relacionados. En las selecciones pendientes para la resistencia a la pudrición negra de las mazorcas, debe estudiarse la granulometría, para evitar una reducción del tamaño de los granos. Se recomienda una selección sobre index para mantener la granulometría e incrementar los niveles de resistencia.

Etude génétique de la granulométrie des fèves de cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) Relation avec des caractères agronomiques

Fallo J.¹, Cilas C.²

¹ IRAD, Nkolbisson, BP 2067, Yaoundé, Cameroun

² CIRAD-CP, BP 5035, 34032 Montpellier, Cedex 1, France

Un diallèle complet à six géniteurs a été implanté, en 1974, sur la station de l'Institut de recherche agricole pour le développement (Irada) de Barombi-Kang, au sud-ouest du Cameroun, en vue d'étudier l'héritabilité de la résistance à la pourriture brune des cabosses, due à *Phytophthora megakarya*. Une première étude a mis en évidence une transmission additive du caractère de résistance au champ (Despréaux *et al.*, 1989). Les facteurs de résistance à cette maladie ont été explicités dans une seconde étude et le classement des géniteurs s'est confirmé (Berry et Cilas, 1994). Ces travaux ont permis de sélectionner des familles et des individus présentant une bonne capacité productive et une moindre sensibilité à la maladie (Cilas *et al.*, 1995). Cependant, cette sélection n'a pas pris en compte les caractéristiques technologiques du cacao comme la granulométrie ou la teneur en matière grasse. Afin de mesurer l'impact de cette sélection sur la qualité du cacao, il est apparu nécessaire d'examiner les caractéristiques technologiques du matériel végétal en sélection.

Des prélèvements de cabosses ont été réalisés dans cet essai pour une étude des caractéristiques technologiques des fèves. Une partie de cette étude a déterminé les

meilleurs géniteurs et les meilleures familles hybrides pour les caractères considérés. Ces derniers ayant été mesurés par famille et par bloc, il n'a pas été possible de les intégrer dans un index utile à la sélection d'individus. Un prélèvement arbre par arbre a été effectué et la granulométrie, mesurée par le nombre de fèves dans 100 g de cacao fermenté et séché, a été retenue comme critère de sélection.

En vue d'effectuer une sélection d'arbres productifs, peu sensibles à la pourriture brune des cabosses et dont les fèves ont une bonne granulométrie, une étude des relations entre ces différents caractères est donc proposée. Après ajustement aux effets « date » de prélèvement » et aux effets « blocs » (répétitions), le modèle d'analyse de variance à effectifs déséquilibrés du plan diallèle est appliqué (Keuls et Garretsen, 1977). Les aptitudes générales et les aptitudes spécifiques à la combinaison de la granulométrie sont estimées, ainsi que l'héritabilité de ce caractère. Les données de granulométrie sont ensuite associées à celles de production et aux taux de pourriture brune afin d'estimer les corrélations phénotypiques, génétiques (génétiques additives et génétiques totales) et environnementales entre ces caractères.

Matériel et méthodes

Matériel végétal

Les analyses portent sur la partie triangulaire du plan diallèle à six géniteurs. Parmi les 30 croisements disponibles, 15 ont été retenus (tableau 1).

Les six géniteurs avaient été choisis pour leurs différents niveaux de sensibilité à la pourriture brune des cabosses (Blaha et Lotodé, 1976). SNK 10 et SNK 413 sont des Trinitario sélectionnés sur la station expérimentale de Nkoemvone, au Cameroun, ICS 95 et ICS 84 sont des Trinitario de Trinidad, UPA 134 est une descendance de Forastero Haut-Amazonien en provenance du Ghana (WACRI) et IMC 67 est un Haut-Amazonien sauvage collecté à Iquitos (Pérou).

Les arbres des différents croisements avaient été répartis dans deux parcelles, chacune d'elles divisée en trois blocs, suivant un dispositif en randomisation totale de parcelles monoarbre à l'intérieur de chaque bloc. Dans cette étude, les prélèvements sont réalisés sur un échantillon d'arbres des 15 familles de pleins frères, répartis dans les trois blocs d'une parcelle (tableau 1).

Méthodes

Prélèvement et traitement du cacao

Durant les années 1987, 1988 et 1989, sept prélèvements de trois à cinq cabosses ont été effectués arbre par arbre dans les 15 familles, lors de la période de fructification.

Les cabosses sont traitées à l'Institut de recherches agronomiques de Nkolbisson (écabossage, microfermentation, séchage solaire jusqu'à une humidité de 8 %). La granulométrie est déterminée par le nombre de fèves nécessaires pour constituer 100 g de cacao marchand ; mesure généralement adoptée par les industriels.

Sur ces mêmes arbres, la production a été estimée d'après le nombre de cabosses produites. La résistance à la pourriture brune des cabosses due à *P. megakarya* est mesurée par le taux de cabosses pourries (soit le rapport du nombre de cabosses pourries par arbre sur le nombre total de cabosses produites sur l'arbre). Ces données de production et de résistance ont été obtenues par un dénombrement hebdomadaire des cabosses durant les périodes de production de trois années consécutives, de 1988 à 1990.

Tableau 1. Nombre d'arbres étudiés par famille. / Number of trees studied per family.

Géniteurs / Parents	SNK 10	UPA 134	IMC 67	SNK 413	ICS 95	ICS 84
SNK 10	—	11	4	5	5	6
UPA 134		—	9	10	5	6
IMC 67			—	11	3	6
SNK 413				—	3	4
ICS 95					—	3
ICS 84						—

Analyse statistique

Les effets « dates de prélèvement » et « blocs » ont été étudiés par analyse de variance suivant le modèle « Henderson 3 » disponible dans la procédure « GLM » du logiciel SAS (Azais, 1994). En raison des effets importants de ces deux sources de variation, les moyennes par arbre ont été ajustées aux effets dates, puis aux effets blocs, afin d'effectuer l'analyse diallèle sur des données corrigées.

L'analyse statistique diallèle est ensuite réalisée suivant le modèle général de Griffing (1956), adapté aux effectifs déséquilibrés par Keuls et Garretsen (1977).

$$Y_{ijk} = m + g_i + g_j + s_{ij} + E_{ijk}$$

avec :

i : indice géniteur femelle, j : indice géniteur mâle, k : indice de répétition,

Y_{ijk} : donnée de l'arbre k du croisement ij,

m : moyenne générale,

g_i : aptitude générale à la combinaison (AGC) du géniteur i,

s_{ij} : aptitude spécifique à la combinaison (ASC) du croisement ij,

E_{ijk} : erreur.

Les héritabilités, au sens large et au sens strict, de la granulométrie sont estimées suivant le modèle diallèle à effets aléatoires. Les taux de pourriture brune et les productions sont analysés conjointement aux données ajustées de granulométrie, de manière à estimer les corrélations génétiques et environnementales entre ces différents caractères. Une analyse diallèle multivariée a donc été réalisée sur ces trois caractères. Ces différentes analyses ont été effectuées avec le logiciel OPEP (Baradat *et al.*, 1995).

Résultats

Analyse diallèle de la granulométrie

La moyenne générale de la granulométrie pour les arbres considérés est d'environ 78 fèves pour 100 g. L'analyse diallèle sur les moyennes de granulométrie par arbre ajustées aux effets « dates de prélèvement » et « blocs » est présentée dans le tableau 2.

Tableau 2. Analyse diallèle de la granulométrie. / Diallel analysis of bean size.

Facteur / Factor	ddl / df	F	Proba.
AGC / GCA	5	3,81	0,41 %
ASC / SCA	9	1,886	6,69 %
Résiduelle / Residual	74		

Tableau 3. Comparaisons multiples des AGC estimées et test de Newman et Keuls à 5 %. / Multiple comparisons of estimated GCA and Newman and Keuls' test at 5%.

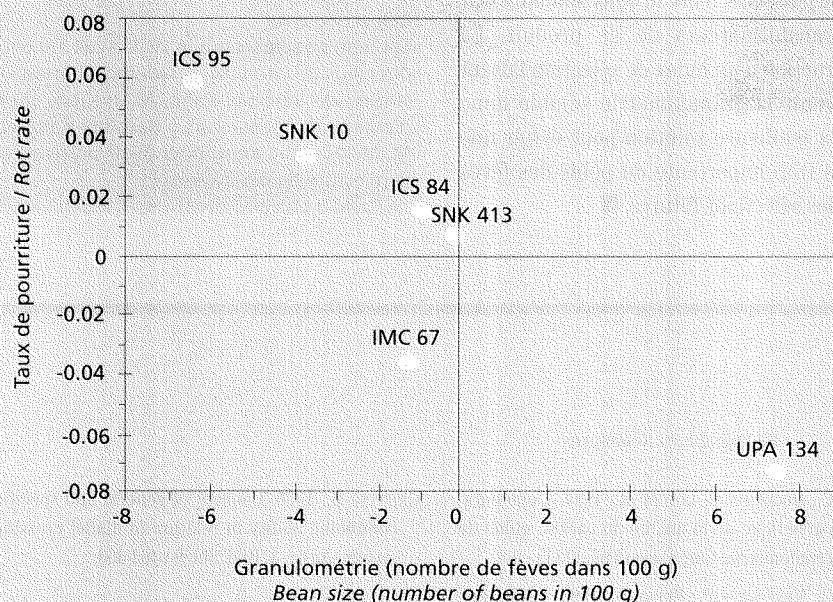
Géniteurs / Parents	\hat{g}_i	Groupes homogènes / Homogeneous groups
UPA 134	7,470	a
SNK 413	-0,172	b
ICS 84	-0,937	b
IMC 67	-1,262	b
SNK 10	-3,689	b
ICS 95	-6,378	b

Seules les AGC représentent une source de variation significative (au seuil de 0,41 %). Il apparaît donc que la transmission de ce caractère est essentiellement additive.

En considérant le modèle à effets aléatoires, l'analyse diallèle permet d'estimer l'héritabilité du caractère. Cette analyse donne une héritabilité $h^2 = 0,227$ (au sens strict) et $h_L^2 = 0,712$ (au sens large).

Une comparaison des aptitudes générales à la combinaison estimées pour les différents géniteurs est ensuite réalisée suivant le test de comparaison multiple des moyennes de Newman et Keuls au seuil de 5 % (tableau 3).

Le géniteur UPA 134 se détache nettement des autres géniteurs avec $\hat{g}_i = 7,470$, ce qui correspond à une granulométrie d'environ 85 fèves pour 100 g. Par comparaison, les descendance du géniteur ICS 95 ont une granulométrie moyenne d'environ 71 fèves pour 100 g.



Représentation des géniteurs en fonction de leurs aptitudes générales à la combinaison pour la granulométrie et la sensibilité à la pourriture brune des cabosses. / Parent classification according to their general combining ability for bean size and susceptibility to black pod.

Il est à noter que ce classement des AGC est globalement inversé par rapport à celui obtenu sur les taux de pourriture brune (figure). En effet, le géniteur UPA 134, qui confère la granulométrie la plus faible à sa descendance, était celui qui avait la meilleure AGC pour la résistance à la pourriture brune des cabosses (Despréaux *et al.*, 1989 ; Berry et Cilas, 1994).

Etude des corrélations

Les analyses diallèles de la production et du taux de pourriture brune ont été réalisées, par ailleurs, sur la totalité des arbres du dispositif (Cilas *et al.*, 1995). Les données ont été reprises pour l'échantillon d'arbres dont la granulométrie a été mesurée, afin d'étudier les différentes corrélations entre ces caractères.

Les corrélations génétiques, environnementales et phénotypiques sont donc estimées entre la granulométrie, d'une part et

le taux de pourriture brune et la production, d'autre part (tableau 4).

Bien que les corrélations phénotypiques entre la granulométrie et les autres caractères considérés soient faibles, il existe des relations génétiques entre ces différents caractères. La sensibilité à la pourriture augmente avec la taille des fèves. La corrélation génétique additive entre cette sensibilité et la granulométrie implique effectivement que la transmission de ces caractères est liée. La corrélation génétique totale entre la production et la granulométrie est également élevée. Les familles à forte granulométrie ont donc, en moyenne, de faibles productions.

La corrélation environnementale entre le taux de pourriture et la granulométrie n'est pas significative, c'est-à-dire qu'il n'existe pas de liaison intrafamiliale entre ces caractères. En revanche, la corrélation environnementale entre la production et la gra-

nulométrie est significative. A l'intérieur d'une famille, la granulométrie des fèves d'un arbre augmente avec sa production. Ces deux caractères sont donc favorisés par les mêmes conditions environnementales.

Discussion et conclusion

L'héritabilité de la granulométrie des fèves de cacaoier est donc assez forte, ce qui confirme les résultats obtenus par d'autres auteurs (Cilas *et al.*, 1989 ; Glendinning, 1963 ; Pardo et Enriquez, 1988). Le géniteur Haut-Amazonien UPA 134 transmet à sa descendance une faible granulométrie. D'autres études ont indiqué qu'il transmettait, également, un bon niveau de résistance à la pourriture brune des cabosses.

D'une façon générale, le classement des AGC pour la granulométrie est lié à celui obtenu sur les AGC de la sensibilité à la pourriture brune des cabosses. Cette relation est linéaire pour les géniteurs étudiés, à l'exception du parent IMC 67 qui s'écarte de cette droite (figure). Ce clone à gros fruits a la particularité de produire des cabosses contenant un grand nombre de fèves de petite taille (Soria et Enriquez, 1981). Cette liaison génétique entre granulométrie et sensibilité à la pourriture brune peut être due à la taille des fruits et/ou à la durée des cycles de fructification des cacaoiers. En effet, un cycle de fructification long entraîne non seulement des tailles de fèves plus élevées mais, aussi, une durée d'exposition des fruits au pathogène plus importante. L'influence de la durée des cycles de fructification sur l'expression de la maladie en champ, qui a déjà été suggérée (Berry et Cilas, 1994), mériterait des études approfondies.

Il existe, également, une liaison génétique entre la production et la granulométrie. Les familles à forte production ont, en moyenne, des fèves plus petites. En revanche, la relation est inverse au niveau environnemental, c'est-à-dire que les conditions favorisant la production des arbres induisent également une augmentation de la granulométrie.

Tableau 4. Corrélations entre la granulométrie, le taux de pourriture et la production. / Correlations between bean size, black pod frequency and yield.

Caractères Traits	Corrélation génétique additive Additive genetic correlation	Corrélation génétique totale Total genetic correlation	Corrélation phénotypique Phenotypic correlation	Corrélation environnementale Environmental correlation
Taux pourriture Black pod frequency	- 0,350	- 0,199	- 0,083	- 0,005
Production Yield	0,240	0,314	0,071	- 0,202

Ces résultats impliquent qu'il est nécessaire de contrôler la granulométrie dans les processus de sélection visant à augmenter la résistance à la pourriture brune des cabosses. En effet, une sélection pour une moindre sensibilité aux diverses espèces de *Phytophthora* risque d'entraîner une baisse importante de la taille des fèves de cacao,

ce qui n'est pas dans le sens souhaité par les transformateurs de ce produit. La construction d'un index de sélection faisant intervenir la granulométrie semble donc être la meilleure solution pour éviter une baisse trop importante du poids des fèves dans les sélections futures. ■

Remerciements

Les auteurs remercient le Dr J. Ayuk Takem, directeur de l'Irad, M. J. Awemo, chef de la station de Barombi-Kang, M. J. Kitio, chef d'équipe d'observateurs à Barombi-Kang et M. M. Doumbe Keng pour avoir participé à la relecture de ces travaux.

Bibliographie / References

- AZAIS J.M., 1994. Analyse de variance non orthogonale, l'exemple de SAS/GLM. Rev. Stat. Appl. 42 (2) : 27-41.
- BARADAT P., LABBÉ T., BOUVET J.M., 1995. Conception d'index pour la sélection réciproque récurrente : aspects génétiques, statistiques et informatiques. In : Traitements statistiques des essais de sélection, actes du séminaire de biométrie et de génétique quantitative, Montpellier, France, 12-14 septembre 1994. Montpellier, France, Cirad, coll. Colloques, p. 101-150.
- BERRY D., CILAS C., 1994. Etude génétique de la réaction à la pourriture brune des cabosses (*Theobroma cacao* L.) issus d'un plan de croisement diallele. Agronomie 14 (9) : 599-609.
- BLAHA G., LOTODÉ R., 1976. Un critère primordial de sélection du cacaoyer au Cameroun : la résistance à la pourriture brune des cabosses (*Phytophthora palmivora*). Café Cacao Thé 20 (2) : 97-116.
- CILAS C., DUCHEMIN C., LOTODÉ R., 1989. L'amélioration génétique de la qualité du cacao : étude de la granulométrie. Café Cacao Thé 33 (1) : 3-8.
- CILAS C., VERSCHAVE P., BERRY D., 1995. Recherche d'un index de sélection pour deux caractères (production et résistance à la pourriture brune des cabosses) chez le cacaoyer. In : Traitements statistiques des essais de sélection, actes du séminaire de biométrie et de génétique quantitative, Montpellier, France, 12-14 septembre 1994. Montpellier, France, p. 333-341.
- DESPRÉAUX D., CLÉMENT D., PARTIOT M., 1989. La pourriture brune des cabosses du cacaoyer au Cameroun : mise en évidence d'un caractère de résistance au champ. Agronomie 9 (7) : 683-691.
- GLENDINNING D.R., 1963. The inheritance of bean size, pod size and number of beans per pod in cocoa (*Theobroma cacao* L.), with a note on bean shape. Euphytica 12 (3) : 311-322.
- GRIFFING B., 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. Austr. J. Biol. Sci. 9 : 463-493.
- KEULS M., GARRETSSEN F., 1977. A general method for the analysis of genetic variation in complete and incomplete diallels and North Carolina II designs. Part I: Procedures and general formulas for the random model. Euphytica 26 : 537-511.
- PARDO J., ENRIQUEZ G.A., 1988. Herencia de algunos componentes de la calidad industrial en almendras de cacao (*Theobroma cacao* L.). In : X^e conférence internationale sur la recherche cacaoyère, République dominicaine, 17-23 mai 1987, p. 695-699.
- SORIA V.J., ENRIQUEZ G.A., 1981. International cacao cultivar catalogue. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, technical series 6, 156 p.

Genetic study of cocoa (*Theobroma cacao* L.) bean size Relation with agronomic traits

Fallo J.¹, Cilas C.²

¹ IRAD, Nkolbisson, BP 2067, Yaoundé, Cameroon

² CIRAD-CP, BP 5035, 34032 Montpellier, Cedex 1, France

A full diallel with six parents was set up, in 1974, at the *Institut de Recherche Agricole pour le Développement* (IRAD) station at Barombi-Kang, in southwestern Cameroon, to study the heritability of resistance to black pod caused by *Phytophthora megakarya*. An initial study revealed additive transmission of the resistance trait in the field (Despréaux *et al.*, 1989). The factors of resistance to the disease were described in a second study, which also confirmed the parent classification (Berry and Cilas, 1994). This work led to the selection of families and individuals that were both high-yielding and less susceptible to the disease (Cilas *et al.*, 1995). However, the selection process did not take account of the technological characteristics of the cocoa produced, such as bean size or fat content. To measure the impact of this selection on cocoa quality, it was necessary to study the technological characteristics of the planting material undergoing selection.

Pod samples were taken from the trial to study the technological characteristics of the beans produced. The study identified the best parents and hybrid families for the traits considered. As the traits were measured per family and per block, it proved impossible to integrate them into an index that could be used to select individuals. Tree-by-tree samples were taken and bean size - the number of beans in 100 g for fermented and dried cocoa, was chosen as a selection criterion.

With a view to selecting productive trees that were only slightly susceptible to black pod and had large beans, a study of the relations between these different traits was proposed. After adjustment to the "sampling date" and "block" (replicate) effects, the unbalanced numbers analysis of variance model for the diallel plan was applied (Keuls and Garretsen, 1977). General and specific combining ability and bean size heritability were then estimated and the bean size data combined with those for yields and black pod frequency in order to estimate the phenotypic, genetic (additive genetic and total genetic) and environmental correlations between the traits.

Material and methods

Planting material

The analyses covered the triangular part of the diallel plan with six parents. Of the 30 crosses available, 15 were chosen (table 1).

The six parents were chosen for their varying susceptibility to black pod (Blaha and Lotodé, 1976). SNK 10 and SNK 413 are Trinitarios bred at the Nkoemvone experimental station in Cameroon, ICS 95 and ICS 84 are Trinidad Trinitarios, UPA 134 is an Upper Amazon Forastero progeny from Ghana (WACRI) and IMC 67 is a wild Upper Amazon collected at Iquitos (Peru).

The trees from the different crosses were divided between two plots, each split into three blocks, with totally randomized single-tree plots within each block. In this study, samples were taken from trees belonging to 15 full-sib families, split between the three blocks in a plot (table 1).

Methods

Cocoa sampling and preparation

In 1987, 1988 and 1989, seven samples of three to five pods were taken tree by tree in the 15 families, during fruiting.

The pods were prepared at the *Institut de Recherches Agronomiques* at Nkolbisson (opening, microfermentation, sun drying to a moisture content of 8%). Bean size was determined as the number of beans in a 100 g sample of dry cocoa, the criterion generally applied by industrialists.

On the same trees, yields were estimated as the number of pods produced. Resistance to black pod caused by *P. megakarya* was measured as the proportion of rotten pods (i.e. the ratio of the number of rotten pods per tree to the total number of pods produced by the tree). These yield and resistance data were obtained by weekly pod counts during the fruiting periods in three consecutive years, from 1988 to 1990.

Statistical analysis

"Sampling date" and "block" effects were studied by analysis of variance as per the "Henderson 3" model, which can be accessed via the "GLM" pro-

cedure of the SAS software (Azais, 1994). Given the considerable effects of these two sources of variation, the means per tree were adjusted to the date effects, then to the block effects, in order to carry out a diallel analysis of the corrected data.

The diallel statistical analysis was then carried out according to the general model developed by Griffing (1956), adapted to unbalanced numbers by Keuls and Garretsen (1977).

$$Y_{ijk} = m + g_i + g_j + s_{ij} + E_{ijk}$$

where:

i: female parent index, j: male parent index, k: replicate index,

Y_{ijk} : data for tree k of cross ij,

m: overall mean,

g_i : general combining ability (GCA) of parent i,

s_{ij} : specific combining ability (SCA) of cross ij, E_{ijk} : error.

The broad and narrow sense heritabilities of bean size were estimated according to the random effect diallel model. Black pod frequency and yields were analysed jointly with the adjusted bean size data so as to estimate the genetic and environmental correlations between the different traits. A multivariate diallel analysis of these three traits was therefore carried out. These different analyses were all conducted using the OPEP software (Baradat *et al.*, 1995).

Results

Diallel analysis of bean size

The overall mean bean size for the trees considered was around 78 beans per 100 g. The diallel analysis of the mean bean sizes per tree adjusted to the "sampling date" and "block" effects is shown in table 2.

Only GCA was a significant source of variation (at 0.41%). Transmission of this trait would therefore seem to be primarily additive.

Considering the random effect model, a diallel analysis can estimate the heritability of a trait. This analysis gave heritability values of $h^2 = 0.227$ (narrow sense) and $h^2_B = 0.712$ (broad sense).

The estimated GCAs of the different parents were then compared by the Newman and Keuls multiple comparison of means test at 5% (table 3).

Parent UPA 134 clearly stood out from the other parents with $\hat{g}_i = 7.470$, which corresponds to a bean size of around 85 beans per 100 g. By comparison, the progenies of parent ICS 95 had a mean bean size of around 71 beans per 100 g.

It is worth noting that this GCA classification is generally the opposite of that for black pod (figure). For instance, parent UPA 134, which transmitted the smallest bean size to its progeny, had the best GCA for black pod resistance (Despréaux *et al.*, 1989; Berry and Cilas, 1994).

Study of correlations

Diallel analyses of yield and black pod frequency were carried out on all the trees in the design (Cilas *et al.*, 1995). The data for the trees whose bean size was measured were used to study the different correlations between these traits.

The genetic, environmental and phenotypic correlations between bean size on the one hand and black pod frequency and yield on the other were measured (table 4).

Although the phenotypic correlations between bean size and the other traits considered were weak, there were genetic relations between the traits. Susceptibility to black pod increased with bean size. The additive genetic correlation between this susceptibility and bean size in fact means that transmission of the two traits is lin-

ked. The total genetic correlation between yield and bean size was also strong. Families with large beans therefore produced low yields, on average.

The environmental correlation between black pod frequency and bean size was not significant, in other words there was no within-family link between these traits. However, there was a significant environmental correlation between yield and bean size. Within a family, the bean size of a given tree increased with yield. These two traits were therefore promoted by the same environmental conditions.

Discussion and conclusion

Cocoa bean size was thus seen to be highly heritable, which confirmed the results obtained by other authors (Cilas *et al.*, 1989; Glendinning, 1963; Pardo and Enriquez, 1988). The Upper Amazon parent UPA 134 passed on small bean size to its progeny. Other studies have indicated that it also transmits a good level of resistance to black pod.

Generally speaking, the GCA classification for bean size was linked to that of the GCA for susceptibility to black pod. The relation was linear for the parents studied, with the exception of parent IMC 67 which deviated from the curve (figure). This clone has large fruits, and is unusual in that it produces pods containing a large number of small beans (Soria and Enriquez, 1981). This genetic link between bean size and susceptibility to black pod may be due to fruit size

and/or the length of the cocoa tree fruiting cycle. For instance, a long fruiting cycle not only results in larger beans but also in longer fruit exposure to the pathogen. The effect of fruiting cycle length on disease expression in the field, which had already been suggested previously (Berry and Cilas, 1994), would be worth studying in greater detail.

There was also a genetic link between yield and bean size. High-yielding families generally produced smaller beans. However, the relation was inverted at environmental level, viz. the conditions that promoted high yields also resulted in larger beans.

These results suggest that it is necessary to keep a check on bean size in breeding schemes aimed at increasing black pod resistance. In effect, breeding for reduced susceptibility to the various *Phytophthora* species may lead to a substantial reduction in cocoa bean size, which is not what processors want. Drawing up a selection index including bean size would therefore seem to be the best way of preventing too great a drop in bean size in future breeding material. ■

Acknowledgements

The authors would like to thank Dr J. Ayuk Taken, Director of IRAD, Mr J. Awerno, Head of the Barombi-Kang station, Mr J. Kito, Head of the Barombi-Kang observation team, and Mr Doumbé Keng for helping to re-read our work.